

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-021837

(43)Date of publication of application : 21.01.1997

(51)Int.Cl.

G01R 27/02

G01N 22/00

G01R 27/26

G01R 33/12

(21)Application number : 07-169394

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 05.07.1995

(72)Inventor : SENDA MASAKATSU

TAKEI KOJI

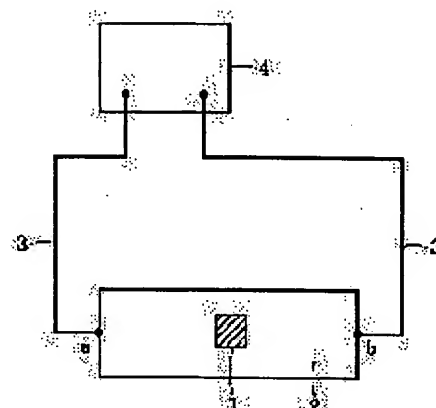
ISHII OSAMU

## (54) HIGH-FREQUENCY CHARACTERISTIC MEASURING DEVICE AND MEASURING METHOD

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To continuously measure frequency characteristic of resistivity, magnetic permeability, a dielectric ratio, a loss and the like at high frequency by connecting both ends of a waveguide in which a sample under measurement is loaded to a transmission characteristic measuring device through a transmission line.

**SOLUTION:** A high-frequency characteristic measuring device is constituted of a waveguide 2 in which a sample 1 under measurement is loaded, a transmission line 3 connected to both ends (a), (b) of it and a transmission characteristic measuring device 4 connected to the transmission line 3. A reflection coefficient at one end (a) of the waveguide 2, a reflection coefficient at the other end (b) of it and a transmission coefficient from the one end (a) to the other end (b) are measured by the measuring device 4. A generalized absorption coefficient, a conduction absorption coefficient and a dielectric absorption coefficient are computed from the reflection coefficient and the transmission coefficient. The total loss of the sample 1 is obtained from the generalized absorption coefficient and conduction loss and resistivity are obtained from the conduction absorption coefficient. Thus, the frequency characteristic of the resistivity, magnetic permeability, a dielectric constant, the loss and the like of the sample 1 can be continuously measured at high frequency of several hundreds MHz to several tens GHz.



(19) 日本国特許庁 ( J P )

(12) 公開特許公報 ( A )

(11) 特許出願公開番号

特開平9-21837

(43) 公開日 平成9年(1997)1月21日

(51) Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 R 27/02			G 0 1 R 27/02	R
G 0 1 N 22/00			G 0 1 N 22/00	X
				Y
				G
				S

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

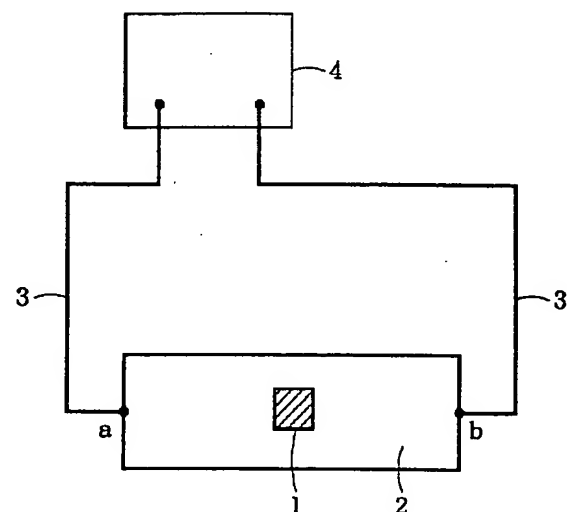
(21) 出願番号	特願平7-169394	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号
(22) 出願日	平成7年(1995)7月5日	(72) 発明者	千田 正勝 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	武井 弘次 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	石井 修 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 小林 将高

(54) 【発明の名称】 高周波特性測定装置および測定方法

(57) 【要約】

【目的】 高周波において、抵抗率、透磁率、誘電率、損失などの周波数特性を連続的に測定できる。

【構成】 被測定試料1が装荷される導波管2と、伝送特性測定器4と伝送線路3とから構成され、導波管2の両端a、bが伝送線路3を介して伝送特性測定器4に接続されており、測定系が共振を起さず、高周波において周波数特性を連続的に測定することができる。



- |         |           |
|---------|-----------|
| 1 被測定試料 | 3 伝送線路    |
| 2 導波管   | 4 伝送特性測定器 |

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 被測定試料が装荷される導波管と、伝送特性測定器と、伝送線路とから構成され、前記導波管の両端が前記伝送線路を介して前記伝送特性測定器に接続されていることを特徴とする高周波特性測定装置。

【請求項2】 被測定試料が装荷される導波管と、伝送特性測定器とから構成され、前記導波管の両端が直接前記伝送特性測定器に接続されていることを特徴とする高周波特性測定装置。

【請求項3】 請求項1あるいは2に記載の高周波特性測定装置を用い、

前記導波管の一端における反射係数と、他端における反射係数と、一端から他端への透過係数とを測定し、

前記一端における反射係数と、前記他端における反射係数と、前記一端から他端への透過係数とから、一般化吸収係数と、導電吸収係数と、磁気吸収係数と、誘電吸収係数とを計算し、

前記一般化吸収係数から前記被測定試料の全損失を、前記導電吸収係数から前記被測定試料の導電損失および抵抗率を、

前記磁気吸収係数から前記被測定試料の磁気損失および透磁率を、

前記誘電吸収係数から前記被測定試料の誘電損失および誘電率を、

それぞれ求めることを特徴とする高周波特性測定方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、高周波特性測定装置および測定方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】まず、磁性体の透磁率測定を例に、周波数特性を連続的に測定する従来技術を説明する。この技術としては、例えば磁気光学効果を利用した方法(A. Thompson and H. Chang: Phys. Stat. Sol., 17, 83('66))および8字コイルを用いた方法(P. A. Calcaño and D. A. Thompson: Rev. Sci. Instrum., 46, 904('75))が知られている。前者では高周波帯域で測定系が共振を起こすため、100 MHz程度が測定上限であり、また、磁性体表面における磁化の動きのみを観察するため、試料全体の透磁率を測定できないという欠点があった。一方、後者では試料全体がサンプルコイルの中に入るため、試料全体の透磁率測定が可能であるものの、この方法でも高周波帯域で測定系が共振するため、測定上限は100 MHz程度であった。

【0003】以上、従来の透磁率の周波数特性測定装置および測定方法では、100 MHz程度が測定上限であった。同様に抵抗率、誘電率、損失の周波数特性測定装置および測定方法においても、測定系に共振が生じるため、測定上限は同程度であった。

【0004】次に、ある特定の周波数(一点)のみ測定

する従来技術を説明する。この技術としては、例えばキャビティ法が挙げられる(C. E. Patton: Rev. Sci. Instrum., 43, 76('72))。これは試料を装荷しない場合と装荷した場合のキャビティのQ変化から、試料の抵抗率、透磁率、誘電率、損失を見積る方法である。この方法では、数十GHzの高周波での測定が可能であるが、前述のように、ある特定の周波数(一点)のみの値しか測定できず、周波数特性を連続的に測定することはできなかった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来は数百MHzから数十GHzの高周波において抵抗率、透磁率、誘電率、損失の周波数特性を連続的に測定する高周波特性測定装置および測定方法はなかった。

【0006】本発明の目的は、従来の高周波特性測定装置および測定方法において問題であった数百MHzから数十GHzの高周波において、抵抗率、透磁率、誘電率、損失などの周波数特性を連続的に測定できないという問題を解決した、高周波特性測定装置および測定方法を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するため、本発明の高周波特性測定装置は、被測定試料が装荷される導波管と、伝送特性測定器と、伝送線路とから構成され、前記導波管の両端が前記伝送線路を介して前記伝送特性測定器に接続されていることを特徴とする。

【0008】また、本発明の高周波特性測定装置は、被測定試料が装荷される導波管と、伝送特性測定器とから構成され、前記導波管の両端が直接前記伝送特性測定器に接続されていることを特徴とする。

【0009】さらに、本発明の高周波特性測定方法は、導波管の一端における反射係数と、他端における反射係数と、一端から他端への透過係数とを測定し、前記一端における反射係数と、前記他端における反射係数と、前記一端から他端への透過係数とから、一般化吸収係数と、導電吸収係数と、磁気吸収係数と、誘電吸収係数とを計算し、前記一般化吸収係数から前記被測定試料の全損失を、前記導電吸収係数から前記被測定試料の導電損失および抵抗率を、前記磁気吸収係数から前記被測定試料の磁気損失および透磁率を、前記誘電吸収係数から前記被測定試料の誘電損失および誘電率を、それぞれ求めることを特徴とする。

【0010】本発明は、従来の高周波特性測定装置および測定方法とは、構成原理が異なる。

【0011】

【作用】本発明の高周波特性測定装置および測定方法によれば、測定系が、伝送線路および導波管あるいは導波管のみにより構成されるため、測定系が共振を起こさず、したがって、原理的にはどんな高周波においても抵抗率、透磁率、損失などの周波数特性を連続的に測定で

きる。

【0012】

【実施例】図1は、本発明にかかる高周波特性測定装置の一実施例を示すブロック図であり、被測定試料1が装荷された導波管2と、前記導波管2の両端a、bに接続された伝送線路3と、前記伝送線路3に接続された伝送特性測定器4とから構成される。

【0013】導波管2としては、例えば方形導波管、円形導波管を使用でき、伝送線路3としては、例えば同軸ケーブル、マイクロストリップライン、平行線路、トリプレート線路、コプレーナ線路を使用でき、また、伝送特性測定器4としては両端における反射係数と、一端から他端への透過係数を測定できるものであればよく、例えばネットワークアナライザと称するものが使用できる。なお、伝送線路3は導波管2と伝送特性測定器4を接続するためのものであり、導波管2と伝送特性測定器4とを、後述する実施例のように直接接続した場合には不要である。

【0014】以下に、本発明の高周波特性測定方法の原理を説明する。

【0015】本発明の高周波特性測定方法では、図1に\*

$$1-[A_e(S)]^2 = \{1-[A_e(S)]^2\}^2 \{1-[A_e(S)]^2\}^2 \{1-[A_e(S)]^2\}^2 \dots (1)$$

また、上記パラメータ間には次式が成り立つ。

※【数2】

【0019】

※

$$\{1-[S_{11}(0)]^2\}^2 \{1-[A_e(0)]^2\}^2 \{1-[A_e(0)]^2\}^2 \{1-[S_{22}(0)]^2\}^2 = [S_{11}(0)]^2 \dots (2)$$

【0020】

☆ ☆【数3】

$$\{1-[S_{11}(S)]^2\}^2 \{1-[A_e(S)]^2\}^2 \{1-[A_e(S)]^2\}^2 \{1-[S_{22}(S)]^2\}^2 = [S_{11}(S)]^2 \dots (3)$$

ここで導波管2の吸収は被測定試料1のある無しに依らないため、

☆【0021】

☆【数4】

$$[A_e(S)]^2 = [A_e(0)]^2 \dots (4)$$

また、被測定試料1を装荷しない場合には、被測定試料1の吸収はないため、

◇【0022】

◇【数5】

$$[A_e(0)]^2 = 0 \dots (5)$$

さらに、M(0)、M(S)を次式で定義すると、

※【数6】

【0023】

\*

$$M(0) = \{1-[S_{11}(0)]^2\}^2 \{1-[S_{22}(0)]^2\}^2 / [S_{11}(0)]^2 \dots (6)$$

【0024】

※ ※【数7】

$$M(S) = \{1-[S_{11}(S)]^2\}^2 \{1-[S_{22}(S)]^2\}^2 / [S_{11}(S)]^2 \dots (7)$$

式(2)から(7)より、

☆【数8】

【0025】

☆40

$$1-[A_e(S)]^2 = M(0)/M(S) \dots (8)$$

よって、

☆【数9】

【0026】

☆

$$[A_e(S)]^2 = 1 - M(0)/M(S) \dots (9)$$

となる。導波管2への入射電力を $P_{11}$ 、被測定試料1の一般化損失をP、とすると、

◇【0027】

◇【数10】

$$P_i = [A_e(S)]^2 \times P_{11} \dots (10)$$

であることから、 $[A_e(S)]^2$ はP、に比例した量となる。

送特性測定器4により測定し、式(6)、(7)、

従って各周波数での $S_{11}(0)$ 、 $S_{11}(S)$ 、 $S_{22}(0)$ 、 $S_{22}(S)$ 、 $S_{21}(0)$ 、 $S_{21}(S)$ を伝

(9)を用いて $[A_e(S)]^2$ を求め、標準試料で絶対値校正

すれば、一般化損失P、の周波数特性が求められること

\* 示す測定系において、導波管2の一端aにおける反射係数、他端bにおける反射係数、および一端aから他端bへの透過係数を伝送特性測定器4により測定することによって、前記被測定試料1の高周波特性を求めることを基本原理とする。

【0016】まず、導電損失、磁気損失、誘電損失を含む被測定試料1の一般的な意味での損失（以下、一般化損失）の周波数特性が反射係数、透過係数の測定により、求められることを示す。

【0017】今、a端における反射係数を $S_{11}$ 、b端における反射係数を $S_{22}$ 、a端からb端への透過係数を $S_{21}$ 、導波管2の吸収係数を $A_e$ 、被測定試料1の一般化吸収係数を $A_i$ とする。被測定試料1を導波管2内に装荷してない場合の記号を、例えば $S_{11}(0)$ 、装荷した場合の記号を、例えば $S_{11}(S)$ と記述することにする。ここで一般化吸収係数 $A_i$ と、導電吸収係数 $A_c$ 、磁気吸収係数 $A_m$ 、誘電吸収係数 $A_d$ 間には、次式の関係がある。

【0018】

20 【数1】

になる。

【0028】以上、被測定試料1の一般化損失の周波数特性が反射係数、透過係数の測定により求められることが示された。

【0029】次に、被測定試料1の特性（導電体、磁性体、誘電体）に分けて抵抗率、透磁率、誘電率、導電損失、磁気損失、誘電損失の周波数特性を測定する方法を説明する。

$$[A_e(S)]^2 = [A_e(S)]^2 = 0$$

とおける。よって式(1)は、

【0033】

$$1 - [A_e(S)]^2 = 1 - [A_e(S)]^2$$

式(9)より、

【0034】

$$[A_e(S)]^2 = 1 - M(0)/M(S)$$

となる。また、式(10)同様、

【0035】

$$P_e = [A_e(S)]^2 \times P_m$$

となり、各周波数での $S_{11}(0)$ 、 $S_{11}(S)$ 、 $S_{22}(0)$ 、 $S_{22}(S)$ 、 $S_{12}(0)$ 、 $S_{12}(S)$ を伝送特性測定器4により測定し、式(6)、(7)、(13)を用いて $[A_e(S)]^2$ を求め、標準試料で絶対値校正すれ

$$\rho \propto P_e$$

の関係により、 $P_e$ の周波数特性がわかれば、標準試料で絶対値校正することにより、 $\rho$ の周波数特性が求められる。

【0037】以上、導電損失 $P_e$ と、抵抗率 $\rho$ の周波数特性が求められることが示された。

【0038】i) 導電性磁性体（導電体かつ磁性体であり、誘電体でない）の場合

$$[A_e(S)]^2 = 0$$

とおける。よって式(1)は、

【0041】

$$1 - [A_e(S)]^2 = \{1 - [A_e(S)]^2\} \{1 - [A_e(S)]^2\}$$

となる。今、被測定試料1に、この被測定試料の磁気共鳴周波数が測定周波数帯域の外側に移動するのに十分な大きさの外部磁界を印加した場合の記号を、例えばM

(0, H)、印加しない場合の記号を例えばM(0, ☆

$$1 - [A_e(S, 0)]^2 = \{1 - [A_e(S, 0)]^2\} \{1 - [A_e(S, 0)]^2\}$$

となる。上記外部磁界の印加時には、磁気吸収の寄与は無視できるため、

$$[A_e(S, H)]^2 = 0$$

とおけ、式(16)、(17)より、

【0044】

$$1 - [A_e(S, H)]^2 = 1 - [A_e(S, H)]^2$$

となる。よって式(9)より、

【0045】

$$[A_e(S, H)]^2 = 1 - M(0, H)/M(S, H)$$

となり、i) 同様、各周波数での $S_{11}(0, H)$ 、 $S_{11}(S, H)$ 、 $S_{22}(0, H)$ 、 $S_{22}(S, H)$ 、 $S_{12}(0, H)$ 、 $S_{12}(S, H)$ を伝送特性測定器4により測定し、式(6)、(7)、(20)を用いて $[A_e(S,$

\*【0030】i) 非磁性導電体（導電体であり、磁性体、誘電体でない）の場合

導電損失 $P_e$ と抵抗率 $\rho$ の周波数特性が以下のように求められる。

【0031】この場合、磁気吸収、誘電吸収は無視できるため、

【0032】

\*【数11】

... (11)

10※【数12】

※

... (12)

☆【数13】

☆

... (13)

☆【数14】

☆

... (14)

◇ば、一般化損失 $P_e$ の周波数特性が求められる。また、

20【0036】

【数15】

... (15)

\* 導電損失 $P_e$ と、抵抗率 $\rho$ の周波数特性、磁気損失 $P_m$ と、透磁率 $\mu (= \mu' - j\mu'')$ の周波数特性が以下のように求められる。ここで、 $j = \sqrt{-1}$ であり、 $\mu'$ は実数部、 $\mu''$ は虚数部を示す。

【0039】この場合、誘電吸収は無視できるため、

【0040】

\*30【数16】

... (16)

※【数17】

※

... (17)

☆0)と記述することにする。この記号を用いると式(17)は、

【0042】

【数18】

... (17')

40☆【0043】

☆

【数19】

... (18)

◇【数20】

◇

... (19)

\*【数21】

\*

... (20)

H)]<sup>2</sup> を求め、標準試料で絶対値較正すれば、導電損失  $P_c$  の周波数特性が求められる。また、 $P_c$  がわかると i) 同様、式 (15) により  $\rho$  の周波数特性が求められる。

【0046】次に、磁気損失  $P_m$  と、透磁率  $\mu (= \mu' * \mu'' - j \mu'')$  を求める。導電吸収は外部磁界の有無に依らないため、

$$[A_c(S, H)]^2 = [A_c(S, 0)]^2$$

... (21)

であり、式 (17'), (20), (21) より、

※【数23】

【0048】

$$\begin{aligned} [A_c(S, 0)]^2 &= 1 - [1 - [A_c(S, 0)]^2] / [1 - [A_c(S, H)]^2] \\ &= 1 - \{ \mu(0, 0) / \mu(S, 0) \} / \{ \mu(0, H) / \mu(S, H) \} \end{aligned}$$

... (22)

が得られる。よって、各周波数での  $S_{11}(0, 0)$ ,  $S_{11}(S, 0)$ ,  $S_{22}(0, 0)$ ,  $S_{22}(S, 0)$ ,  $S_{11}(0, H)$ ,  $S_{11}(S, H)$ ,  $S_{22}(0, H)$ ,  $S_{22}(S, H)$ ,  $S_{11}(0, H)$ ,  $S_{11}(S, H)$  を伝送特性測定器4により☆

☆測定し、式 (6), (7), (22) を用いて  $[A_c(S, 0)]^2$  を求め、標準試料で絶対値較正すれば、導電損失  $P_c$  の周波数特性が求められる。また、

【0049】

【数24】

... (23)

の関係により、 $P_m$  の周波数特性がわかれば、標準試料で絶対値較正することにより、 $\mu''$  の周波数特性が求められる。また、 $\mu'$  と  $\mu''$  にはKramers-Kronig (クラマースクロニヒ) の関係(C.Kittel: Introduction to Solid State Physics, John Wiley & Sons, Inc. 1976) ,

☆【0050】

【数25】

$$\mu' = 1 + (2/\pi) P \int_0^\infty \{ [x \times \mu''(x)] / [x^2 - \omega^2] \} dx$$

... (24)

が成り立つため、 $\mu''$  の周波数特性がわかれば、 $\mu'$  の周波数特性も求められる。ここで  $\omega$  は角振動数 ( $= 2\pi f$ ) ,  $f$  は周波数、 $x$  は積分変数、 $p$  は積分の主値を意味する。

【0051】なお、式 (17') で定義される  $[A_c(S, 0)]^2$  は、被測定試料1の全損失 (導電磁気損失  $P_{cm}$ ) に比例する量であるため、各周波数での  $S_{11}(0, 0)$ ,  $S_{11}(S, 0)$ ,  $S_{22}(0, 0)$ ,  $S_{22}(S, 0)$ ,  $S_{11}(0, H)$ ,  $S_{11}(S, H)$ ,  $S_{22}(0, H)$ ,  $S_{22}(S, H)$  を伝送特性測定器4により測定し、式 (6), (7), (9) を用いて、 $[A_c(S, 0)]^2$  を求め、標準試料で絶対値較正すれば、導電磁気損失  $P_{cm}$  の周波数特性が求められる。

【0052】以上、導電損失  $P_c$  と導電率  $\rho$  の周波数特性

$$[A_c(S)]^2 = 0$$

... (25)

とおける。よって式 (1) は、

※【数27】

【0056】

$$1 - [A_c(S)]^2 = \{ 1 - [A_c(S)]^2 \} \{ 1 - [A_c(S)]^2 \}$$

... (26)

となる。ii) 同様、被測定試料1に、この被測定試料の磁気共鳴周波数が測定周波数帯域の外側に移動するのに十分な大きさの外部磁界を印加した場合の記号を、例えば  $M(0; H)$ 、印加しない場合の記号を、例えば  $M$  ※

※ (0, 0) と記述することにする。この記号を用いると式 (26) は、

【0057】

【数28】

$$1 - [A_c(S, 0)]^2 = \{ 1 - [A_c(S, 0)]^2 \} \{ 1 - [A_c(S, 0)]^2 \}$$

... (26')

となる。上記外部磁界の印加時には、磁気吸収の寄与は無視できるため、

☆【0058】

☆【数29】

$$[A_c(S, H)]^2 = 0$$

... (27)

とおけ、式 (25), (26) より

☆【数30】

【0059】

$$1 - [A_c(S, H)]^2 = 1 - [A_c(S, H)]^2$$

... (28)

となる。よって式 (9) より、

50 【0060】

【数31】

$$[A_0(S, H)]^2 = 1 - M(0, H) / M(S, H) \quad \dots(29)$$

となり、各周波数での  $S_{11}(0, H)$ ,  $S_{11}(S, H)$ ,  $S_{22}(0, H)$ ,  $S_{22}(S, H)$ ,  $S_{11}(0, H)$ ,  $S_{11}(S, H)$  を伝送特性測定器4により測定

\* 求め、標準試料で絶対値較正すれば、導電損失  $P_d$  の周波数特性が求められる。また、

【0061】

し、式(6), (7), (29)を用いて  $[A_0(S, H)]^2$  を\*

【数32】

$$\epsilon'' \times f \propto P_d \quad \dots(30)$$

の関係により、 $P_d$  の周波数特性がわかれば、標準試料

※【0062】

で絶対値較正することにより、 $\epsilon''$  の周波数特性が求め

【数33】

られる。また、 $\epsilon'$  と  $\epsilon''$  にはKramers-Kronigの関係、※10

$$\epsilon' = 1 + (2/\pi) P \int_0^\infty \frac{x \epsilon''(x)}{x^2 - \omega^2} dx \quad \dots(31)$$

が成り立つため、 $\epsilon''$  の周波数特性がわかれば、 $\epsilon'$  の周波数特性も求められる。

☆ないため、

【0064】

【0063】次に、磁気損失  $P_m$  と、透磁率  $\mu (= \mu' - j\mu'')$  を求める。誘電吸収は外部磁界の有無に依ら☆

【数34】

$$[A_0(S, H)]^2 = [A_0(S, 0)]^2 \quad \dots(32)$$

であり、式(26'), (29), (32)より、

☆【数35】

【0065】

☆

$$\begin{aligned} [A_0(S, 0)]^2 &= 1 - \{1 - [A_0(S, 0)]^2\} / \{1 - [A_0(S, H)]^2\} \\ &= 1 - M(0, 0) / M(S, 0) / \{M(0, H) / M(S, H)\} \end{aligned} \quad \dots(33)$$

が得られる。よって、各周波数での  $S_{11}(0, 0)$ ,  $S_{11}(S, 0)$ ,  $S_{22}(0, 0)$ ,  $S_{22}(S, 0)$ ,  $S_{11}(0, 0)$ ,  $S_{11}(S, 0)$ ,  $S_{11}(0, H)$ ,  $S_{11}(S, H)$ ,  $S_{22}(0, H)$ ,  $S_{22}(S, H)$ ,  $S_{11}(0, H)$ ,  $S_{11}(S, H)$  を伝送特性測定器4により測定し、式(33)を用いて  $[A_0(S, 0)]^2$  を求め、標準試料で絶対値較正すれば、磁気損失  $P_m$  の周波数特性が求められる。また、 $P_d$  がわかると i i) 同様、式(23), (24)により  $\mu'$ ,  $\mu''$  の周波数特性が求められる。

◇  $0)^2$  を求め、標準試料で絶対値較正すれば、磁気誘電損失  $P_{md}$  の周波数特性が求められる。

【0067】以上、磁気損失  $P_m$  と透磁率  $\mu (= \mu' - j\mu'')$  の周波数特性、誘電損失  $P_d$  と、誘電率  $\epsilon (= \epsilon' - j\epsilon'')$  の周波数特性、および被測定試料1の全損失(磁気誘電損失  $P_{md}$ )の周波数特性が求められることが示された。

【0068】i v) 被磁性誘電体(導電体、磁性体でなく、誘電体である)の場合

30 誘電損失  $P_d$  と誘電率  $\epsilon (= \epsilon' - j\epsilon'')$  の周波数特性が以下のように求められる。

【0069】この場合、導電吸収、磁気吸収は無視できるため、

【0070】

【数36】

$$[A_0(S)]^2 = [A_0(S)]^2 = 0 \quad \dots(34)$$

とおける。よって式(1)は、

\*【数37】

【0071】

\*

$$1 - [A_0(S)]^2 = 1 - [A_0(S)]^2 \quad \dots(35)$$

式(9)より、

※【数38】

【0072】

※

$$[A_0(S)]^2 = 1 - M(0) / M(S) \quad \dots(36)$$

となり、各周波数での  $S_{11}(0)$ ,  $S_{11}(S)$ ,  $S_{22}(0)$ ,  $S_{22}(S)$ ,  $S_{11}(0)$ ,  $S_{11}(S)$  を伝送特性測定器4により測定し、式(36)を用いて  $[A_0(S)]^2$  を求め、標準試料で絶対値較正すれば、誘電損失  $P_d$  の周波数特性が求められる。また、 $P_d$  がわかると i i i) 同様、式(30), (31)により  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  の周波数特性が求められる。

【0073】以上、誘電損失  $P_d$  と誘電率  $\epsilon (= \epsilon' - j\epsilon'')$  の周波数特性が求められることが示された。

【0074】上記 i) から i v) をまとめると図2のようになる。

【0075】次に、具体的測定例を示す。導波管2には方形型導波管を、伝送線路3には同軸ケーブルを、伝送特性測定器4にはネットワークアナライザを使用した。

全損失はdB表示による任意単位で示し、比透磁率の絶対値は各被測定試料の低周波における透磁率の値を用いて較正した。

【0076】図3に被測定試料1として絶縁性磁性体であるNi-Zn系ゴムフェライト（等方性の磁気異方性を有する）を用いた場合の全損失の周波数特性を示す。図3で横軸は周波数、縦軸は全損失を示す。ゴムフェライトの全損失は磁気損失と誘電損失に由来する磁気誘電損失（ $P_{\text{e}}$ ）である。外部磁界の印加により誘電損失（ $P_{\text{e}}$ ）および誘電率（ $\epsilon$ ）が、さらにこれを用いて磁気損失（ $P_{\text{m}}$ ）および透磁率（ $\mu$ ）が求められる。

【0077】図4にこのようにして求めた比透磁率（ $\mu_r$ ）の周波数特性を示す。図4で横軸は周波数、縦軸は曲線Aで示される比透磁率 $\mu_r'$ と曲線Bで示される比透磁率 $\mu_r''$ を示す。

【0078】図5に被測定試料1として導電性磁性体であるCoFe膜（約2500eの一軸磁気異方性を有する）を用いた場合の全損失の周波数特性を示す。図5で、横軸は周波数、縦軸は全損失を示す。CoFe膜の膜厚は表皮効果を抑えるため十分薄い20nmとし、また、膜面内逆磁歪効果により約2500eの一軸磁気異方性を付与した。CoFe膜の全損失は導電損失と磁気損失に由来する導電磁気損失（ $P_{\text{e}}$ ）である。外部磁界の印加により導電損失（ $P_{\text{e}}$ ）および抵抗率（ $\rho$ ）が、さらにこれらを用いて磁気損失（ $P_{\text{m}}$ ）および透磁率（ $\mu$ ）が求められる。

【0079】図6にこのようにして求めた比透磁率（ $\mu_r$ ）の周波数特性を示す。図6で横軸は周波数、縦軸は曲線Cで示される比透磁率 $\mu_r'$ と曲線Dで示されると比透磁率 $\mu_r''$ を示す。

【0080】図7に本発明の他の実施例を示す。図1の実施例では、導波管2の両端a、bが伝送線路3を介して伝送特性測定器4の測定端子に接続されているが、図7に示すように伝送線路3を省略して直接導波管2の両端a、bを伝送特性測定器4に接続するようにしてもよい。このような構成にすることにより伝送線路3の周波数特性の因子を除くことができ、より正確に被測定試料1の高周波特性を測定することができる。

【0081】以上、本発明の高周波特性測定装置および測定方法により、数百MHzから数十GHzの高周波において、抵抗率、透磁率、誘電率、損失などの周波数特性を連続的に測定することが示された。

【0082】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の高周波特性測定装置は、被測定試料が装荷される導波管と、伝送特性測定器と、伝送線路とから構成され、前記導波管の両端が前記伝送線路を介して前記伝送特性測定器に接続

されているので、測定系が共振を起すことがなくなり、被測定試料の抵抗率、透磁率、誘電率、損失などの周波数特性を、数百MHzから数十GHzの高周波において連続的に測定できる。

【0083】また、導波管の両端を直接伝送特性測定器に接続した高周波特性測定装置は、導波管の両端を伝送特性測定器に接続するための伝送線路が不要となり、この伝送線路による周波数特性の因子を除去できる。

【0084】さらに、本発明にかかる高周波特性測定方法は、導波管の一端における反射係数と、他端における反射係数と、一端から他端への透過係数とを測定し、前記一端における反射係数と、前記他端における反射係数と、前記一端から他端への透過係数とから、一般化吸収係数と、導電吸収係数と、磁気吸収係数と、誘電吸収係数とを計算し、前記一般化吸収係数から前記被測定試料の全損失を、前記導電吸収係数から前記被測定試料の導電損失および抵抗率を、前記磁気吸収係数から前記被測定試料の磁気損失および透磁率を、前記誘電吸収係数から前記被測定試料の誘電損失および誘電率を、それぞれ求めるので、被測定試料の抵抗率、透磁率、誘電率、損失などの周波数特性を数百MHzから数十GHzの高周波において連続的に測定できる。

【0085】なお、本発明では、測定周波数帯域は導波管、伝送線路、伝送特性測定器の性能により制限されるが、原理的にはどんな高周波においても測定は可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の高周波特性測定装置の一実施例の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の高周波特性測定方法で測定される各種量をまとめた図である。

【図3】被測定試料としてのNi-Zn系ゴムフェライトを用いた場合の全損失の周波数特性を示す図である。

【図4】被測定試料としてのNi-Zn系ゴムフェライトを用いた場合の比透磁率（ $\mu_r$ ）の周波数特性を示す図である。

【図5】被測定試料としてのCoFe膜を用いた場合の全損失の周波数特性を示す図である。

【図6】被測定試料としてのCoFe膜を用いた場合の比透磁率（ $\mu_r$ ）の周波数特性を示す図である。

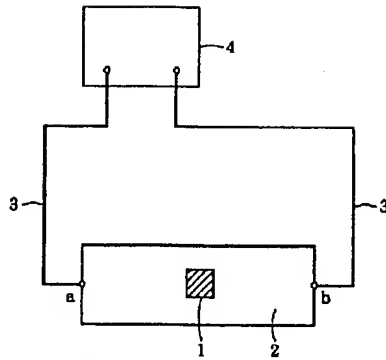
【図7】本発明の高周波特性測定装置の他の実施例の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 1 被測定試料
- 2 導波管
- 3 伝送線路
- 4 伝送特性測定器

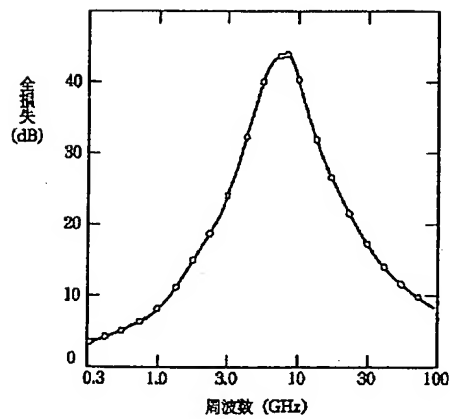


【図1】

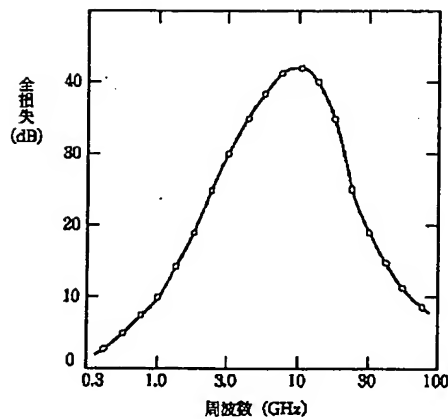


1 被測定試料      3 伝送線路  
2 導波管          4 伝送特性測定器

【図3】



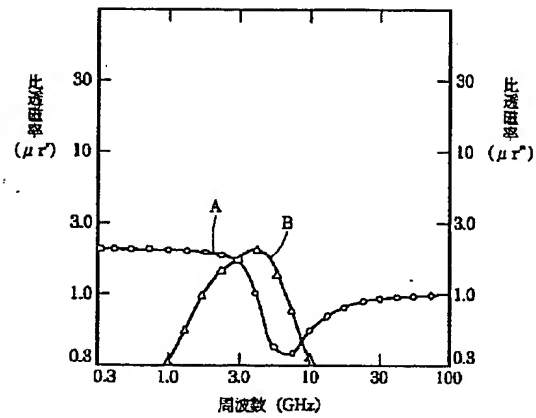
【図5】



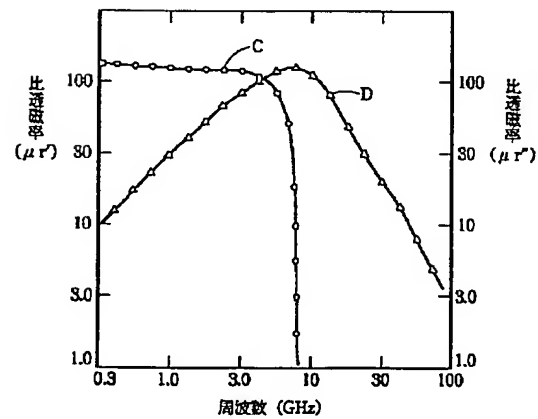
【図2】

型	導電体	磁性体	誘電体	測定される量
i)	○	×	×	導電損失 ( $P_c$ ), 抵抗率 ( $\rho$ )
ii)	○	○	×	導電損失 ( $P_c$ ), 抵抗率 ( $\rho$ ), 磁気損失 ( $P_m$ ), 透磁率 ( $\mu$ ), 全損失 ( $P_{\Sigma}$ )
iii)	×	○	○	磁気損失 ( $P_m$ ), 透磁率 ( $\mu$ ), 誘電損失 ( $P_d$ ), 誘電率 ( $\epsilon$ ), 全損失 ( $P_{\Sigma}$ )
iv)	×	×	○	誘電損失 ( $P_d$ ), 誘電率 ( $\epsilon$ )

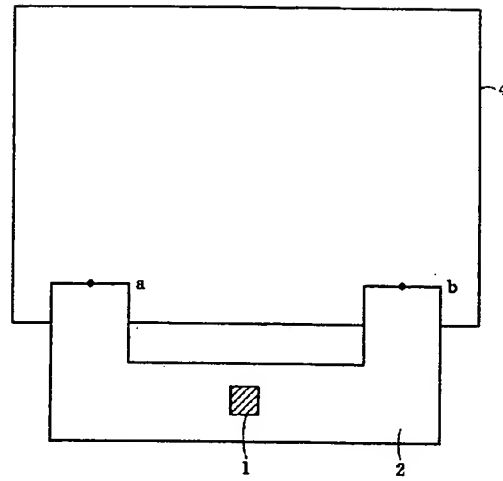
【図4】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 1 R 27/26

識別記号 弁内整理番号

F I  
G 0 1 R 27/26

技術表示箇所

33/12

8908-2G

33/12

H  
T  
Z